



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA A DĚLENÍ TRUBEK

PRODUCTION AND CUTTING TUBES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MIROSLAV DRÁPALA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. EVA ŠMEHLÍKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Miroslav Drápala

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba a dělení trubek

v anglickém jazyce:

Production and cutting tubes

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o vytvoření obecného přehledu metod výroby a dělení trubek. V práci by měly být uvedeny metody využívající moderních strojů, nástrojů a materiálů. Dále popis těchto metod, moderní výrobní postupy a popřípadě i příklady vyráběných polotovarů.

Cíle bakalářské práce:

Provedení průzkumu v oblasti tváření a vytvoření přehledu současných metod výroby a dělení trubek. Stručný popis nejnovějších metod a výrobních postupů a uvedení jejich předností.

Seznam odborné literatury:

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal forming: Mechanics and Metallurgy. 3th ed. New York: Cambridge university press, 2007. 365 s. ISBN-13 978-0-521-88121-0.

MARCINIAK, Zdzislaw, John L. DUNCAN and Jack S. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 0750653000.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 25.10.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

DRÁPALA Miroslav: Výroba a dělení trubek.

Předložený projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia B-STI Strojní inženýrství je zaměřen na problematiku výroby a dělení trubek tvářením. Na základě literární studie dané problematiky a vlastních znalostí je v práci představeno několik technologií pro výrobu a dělení trubek, nástroje a stroje, jenž souvisí s popsányými metodami.

Klíčová slova: trubky, metoda, válcování, řezání, výroba

ABSTRACT

DRÁPALA Miroslav: Production and cutting tubes.

The submitted project created in the bachelor studies of B-STI Machinery engineering is focused on problematics of production and cutting tubes by forming. Based on the research of literature mentioned problematics and own knowledge the bachelor thesis describes several technologies of production and cutting tubes and the tools and machinery related with the described methods.

Keywords: tubes, method, rolling, cutting, production

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DRÁPALA, Miroslav. *Výroba a dělení trubek*. Brno, 2012. 35 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 23.5.2012

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval paní Ing. Evě Šmehlíkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 VÝROBA BEZEŠVÝCH TRUBEK	10
1.1 Výroba trubek válcováním	10
1.1.1 Výroba dutých předvalků	10
1.1.2 Válcování na tratích s poutnickými stolicemi (Mannesmann)	11
1.1.3 Válcování na tratích s automatikem (Stiefel)	12
1.1.4 Válcování na spojitých tratích	12
1.1.5 Válcování na trati s tříválcovou stolicí	13
1.1.6 Válcování na stolicích s příčnými otočnými kotouči	14
1.2 Výroba trubek protahováním	14
1.3 Výroba trubek tažením	16
1.3.1 Tažení trubek na uchyceném trnu	17
1.3.2 Tažení trubek na tyči	17
1.3.3 Průvlečné tažení	18
1.3.4 Tažení trubek na volném trnu	18
1.3.5 Tažení trubek za pomoci ultrazvuku	18
1.4 Výroba trubek dopředným vytlačováním	19
2 VÝROBA SVAŘOVANÝCH (ŠVOVÝCH) TRUBEK	21
2.1 Svařování tlakem	21
2.1.1 Spojité svařování trubek v plynové peci na tupo	22
2.1.2 Odporové svařování trubek	22
2.2 Tavné svařování	23
2.2.1 Automatické svařování trubek pod tavidlem (SAW)	23
2.2.2 Svařování trubek laserem	24
3 DĚLENÍ TRUBEK	27
3.1 Dělení třískovým způsobem (konvenční metody)	27
3.1.1 Řezání kotoučovými pilami	27
3.1.2 Řezání pásovými pilami	28
3.1.3 Řezání rámovými pilami	28
3.1.4 Dělení trubek stříháním	29
3.1.5 Dělení trubek upichováním	29
3.1.6 Dělení trubek rozbrušováním	29
3.2 Nekonvenční metody dělení trubek	30
3.2.1 Řezání plazmou	30
3.2.2 Řezání laserem	30
3.2.3 Řezání kyslíkem	31
ZÁVĚR	32

Seznam použitých zdrojů

ÚVOD

Výroba ocelových trubek tvářením tvoří důležitý úsek hutní výroby a má velký význam pro strojírenský průmysl i pro jiná průmyslová odvětví.

Podle způsobu výroby členíme trubky do dvou hlavních skupin na základě dvou zásadně rozdílných postupů. První odvětví tvoří trubky bezešvé, které jsou zhotoveny z plného materiálu a jejichž stěna je celistvá, bez jakéhokoli švu. Další výrobní skupinu tvoří trubky svařované, které jsou zhotoveny pomocí svinutí ocelového pásu do tvaru trubky, jenž je poté svařen.

Vyrobené trubky je poté možno dělit na jednotlivé kusy způsobem třískovým, beztrískovým nebo odtavením, z nichž je nejvíce využíváno způsobu třískového, a to dělení na pilách.

Ocelové trubky jsou široce používány v metalurgii, na chemikálie, ve strojírenství, stavebnictví, v pivovarnictví, na dopravu ropy, uhlí a zemního plynu, elektřiny a v dalších, byť mnohem menších rozměrech, třeba na plotové sloupky, vzpěry nebo pro nábytkářské účely. Jednotlivé příklady viz obr. 1.



Obr. 1 Příklady využití trubek (potrubí) [4, 6, 13, 25, 31, 35]

1 VÝROBA BEZEŠVÝCH TRUBEK [21, 39]

Bezešvé trubky je možno vyrábět z hutnických polotovarů několika zcela rozdílnými metodami, jejichž srovnání je popsáno v tab. 1. Již od samého počátku se technologický postup výroby bezešvých trubek skládá ze dvou oddělených úkonů.

- výroba dutých předvalků
- vlastní válcování, tažení nebo protahování trubek
 - válcování na tratích s poutnickými stolicemi (Mannesmannův způsob)
 - válcování na tratích s automatikem (Stiefelův způsob)
 - válcování na spojitých tratích
 - válcování na tratích s tříválcovými stolicemi (Asselův způsob)
 - válcování na stolicích s příčnými otáčejícími se kotouči (Diescherův způsob)
 - výroba bezešvých trubek protahováním (Erhardtův způsob)
 - výroba bezešvých trubek dopředným vytlačováním

1.1 Výroba trubek válcováním [21, 39]

Válcování je nejrozšířenější metoda výroby bezešvých trubek. Dle výrobní technologie se trubky rozdělují na válcované za tepla a za studena, redukované za tepla a za studena a podle provedení na hladké, závitové, s tvarovými konci atd.

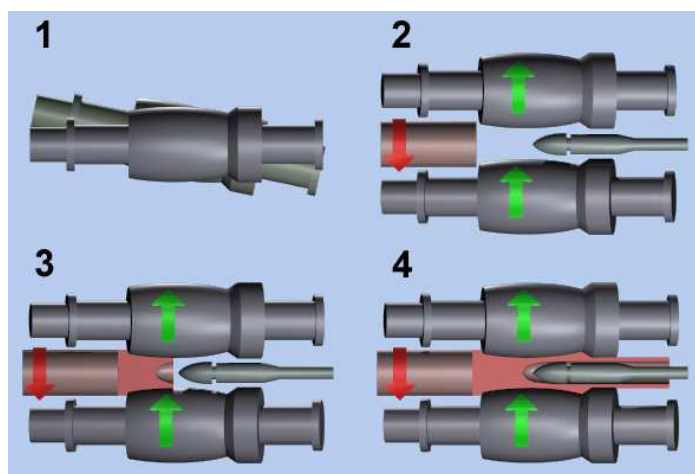
Vlastní výrobní proces má 3 části:

- výroba dutého předvalku
- válcování dutého předvalku na hotovou trubku
- kalibrace a chlazení

1.1.1 Výroba dutých předvalků [5, 21]

Duté předvalky jsou předpokladem pro úspěšné válcování bezešvých trubek. Předvalky musí být přesně válcové a soustředné, t.j. s rovnoměrnou tloušťkou stěny po obvodu i délce. Povrch musí být hladký, bez vln ve tvaru šroubovice a jiných povrchových vad (trhliny, šupiny).

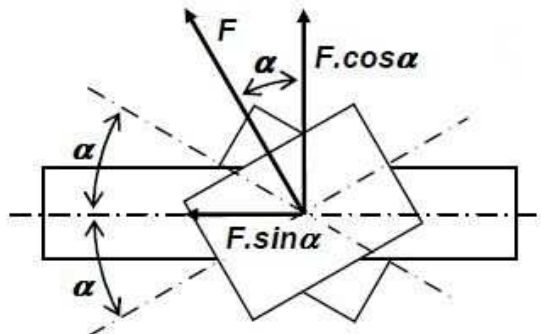
Děrování se provádí vždy kosým válcováním. Ohřátý materiál se vloží do vběžného žlabu děrovacího stroje a poté se zasune do válců pomocí hydraulického strkače. Jakmile válce uvedou materiál do pohybu, účinkem osové složky obvodové síly jej vtahují do děrovacího kužele, jak je zobrazeno na obr. 2.



Obr. 2 Proces děrování [37]

Teorie kosého válcování [10]

Pokud prochází polotovár mezi mimoběžnými válci, jak je naznačeno na obr. 3, otáčí se kolem své osy (dvojice sil $F \cdot d \cdot \cos \alpha$, kde d je průměr vývalku), a také se podél této osy posouvá (celková osová síla $2 \cdot F \cdot \sin \alpha$). Je-li obvodová rychlost válce v , obvodová rychlost vývalku je pak $v \cdot \cos \alpha$, axiální (osová) rychlost je rovna $v \cdot \sin \alpha$.



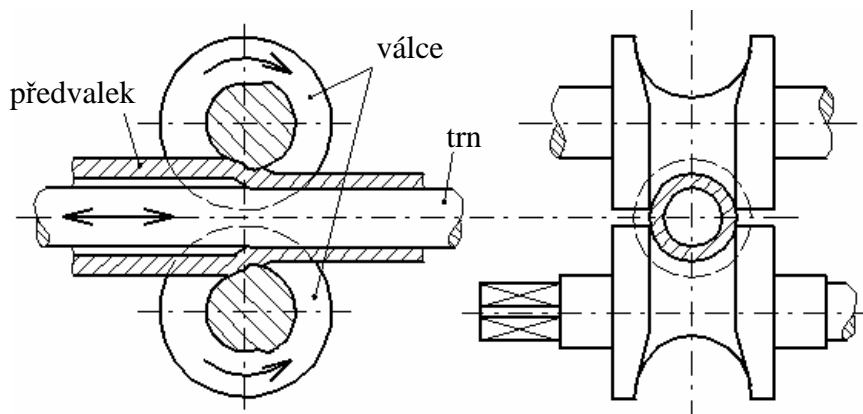
Obr. 3 Princip kosého válcování [10]

1.1.2 Válcování na tratích s poutnickými stolicemi (Mannesmann) [21, 39]

Válcování se provádí již na předem vyrobeném tlustostěnném předvalku na tzv. poutnické stoličce. Materiálem mohou být buď ingoty, které se volí na trubky velkých průměrů, nebo sochory pro trubky menších průměrů.

Na obr. 4 je znázorněn dutý předvalek usazený na trnu, jehož průměr odpovídá průměru trubky. Do záběru se dostane, jakmile jsou poutnické válce k sobě natočeny vybráním, tzv. prázdným kalibrem. Dalším otáčením válců se dostane do záběru záběrová část kalibru, což vykonává spolu s trnem zpětný posuvný pohyb. Válce se dále odvalují po poutnickém trnu a válcuje se na danou tloušťku odpovídající profilu kalibru.

Poutnické stoličky viz obr. 5 jsou schopny vyválcovat trubku na konečný rozměr. Moderní tratě jsou však vybaveny kalibrovacím strojem, který je umístěn za poutnickou stoličkou, v němž se vyrobená trubka zkalibruje po odříznutí nerovných konců na přesný vnější průměr. Výhodou této metody je válcování trubek takových délek, které jinými způsoby válcování nelze vyrobit (36 m a více).



Obr. 4 Princip válcování na poutnické stoličce [39]

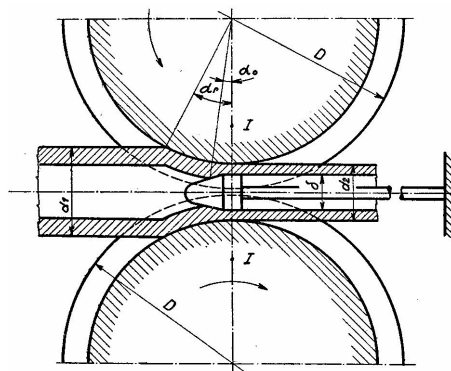


Obr. 5 Ukázka válcování na poutnické stolici [38]

1.1.3 Válcování na tratích s automatikem (Stiefel) [21, 39]

U této tzv. Stiefelovy metody je požadována nejmenší tloušťka stěny předvalků $6 \div 7$ mm. Na tratích s automatikem se někdy děruje dvakrát, trať má pak 2 děrovací stroje.

Automatik pracuje na principu podélného válcování. Je proveden na principu dvouválcové stolice s kruhovými kalibry. Válcuje se předvalek nasazený na trnu základního kuželovitého tvaru, což znázorňuje obr. 6, na dva až tři průchody trubky. Po každém dalším průchodu je trubka pootočená o 90° podél své osy a je nasazen ochlazený trn. Zpětný pohyb provalku se uskuteční po rozevření válců pomocí vratných kotoučů nebo válců. Na automatiku se vyválčuje požadovaná tloušťka stěny. Trubka je poté nasazena na hladicí stroj, kde se vyhlazuje vnitřní i vnější povrch zároveň.



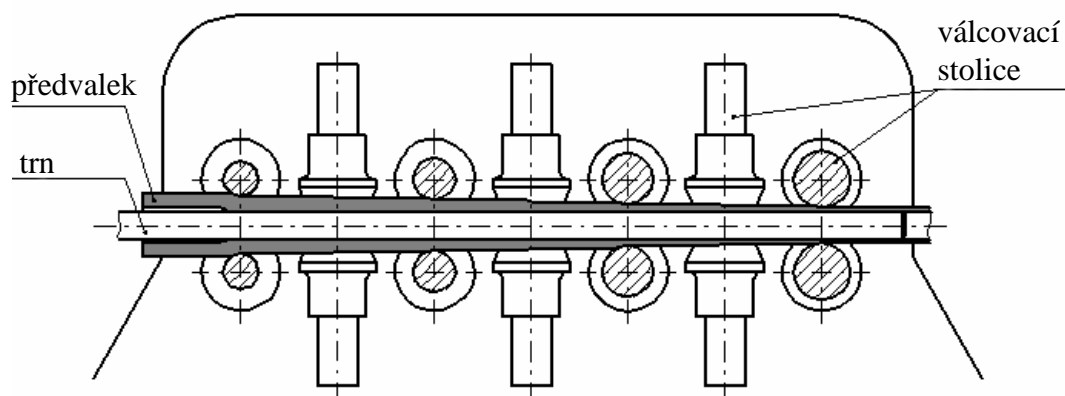
Obr. 6 Válcování na automatiku [21]

1.1.4 Válcování na spojitých tratích [21, 39]

Výroba dutých předvalků pro tento způsob válcování je totožná jako u tratí s poutnickými stolicemi.

Válcování se provádí na spojitých tratích na dlouhém trnu, na němž je navlečen předvalek, který pak prochází i s trnem řadou dvouválcových stolic s kruhovými kalibry uložených těsně za sebou (obr. 7). Trať se skupinovým pohonem mají $7 \div 17$ párů válců. Trny bývají dlouhé $6,5 \div 8$ m. Požadovaný průměr a tloušťka stěny se vyválčuje na jeden průchod všemi páry válců. Trubka jde poté na kalibrovací stroj nebo na další zpracování na redukovací stolici.

Spojité válcovací tratě se vyznačují velkými výkony. Takt válcování je $10 \div 15$ sekund. Válcují se trubky od průměru $38 \div 168$ mm do délky až 20 m.

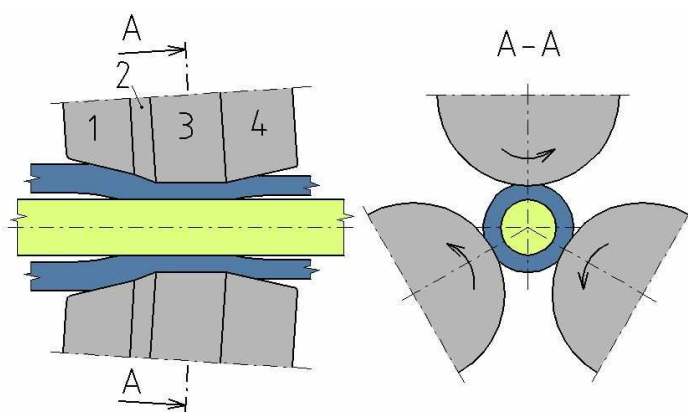


Obr. 7 Spojitá válcovací stolice [21]

1.1.5 Válcování na trati s tříválnovou stolicí [21, 39]

Proces válcování zajišťují 3 válcovací stolice, kde kuželové válce jsou vzájemně mimoběžné a šikmo umístěné pod úhlem $10 \div 15^\circ$. Změnou úhlu válců můžeme ovlivnit stupeň příčné deformace. Každý z oněch kuželů (obr. 8) má svou vlastní funkci. Kužel 1 je záběrový (zaváděcí). Kužel 2 má válcovací funkci a provádí převážnou část deformace. Kužel 3 je rozválnovací, kalibrační kužel, jehož úkolem je vyhladit povrch a kalibrovat vnější průměr. Kužel 4 má výstupní funkci. Za tříválnovou stolicí bývá zařazen ještě kalibrovací stroj.

Na těchto tratích se válcují trubky od 40 do 200 mm, kde minimální tloušťka stěny, kterou lze vyválnovat, je 2,5 mm. Rozsah rychlosti válcování je dle tloušťky stěny $10 \div 30$ m trubek za minutu. Velkou předností těchto stolic je rychlá přestavba na jiný rozměr trubky. Jsou vhodné pro značně členitý výrobní program.



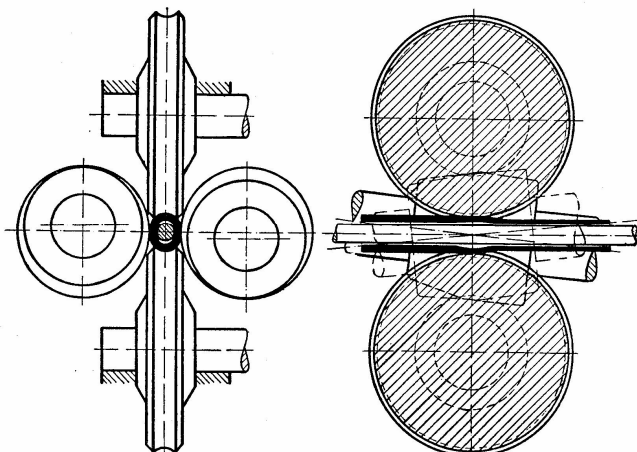
Obr. 8 Válcování tříválnovou stolicí [39]

1.1.6 Válcování na stolicích s příčnými otočnými kotouči [21, 39]

Diescherův válcovací způsob je vhodný pro výrobu trubek menších rozměrů $50 \div 150$ mm s tloušťkou stěn okolo 3 mm.

Válcovací stolice má dva mimoběžné válce, které mají vzájemně skloněné osy a pracují na principu kosého válcování. Mezi tyto válce jsou vloženy ve svislé rovině dva kotouče, které se otáčejí napříč, čímž pomáhají tváření. Princip této metody je znázorněn na obr. 9.

Touto technologií se válcují trubky menších průměrů a délka nepřevyší 15 m. Nevýhodami tohoto zařízení jsou vysoká cena a značné opotřebení nástrojů. Proto je tento způsob výroby málo rozšířen.



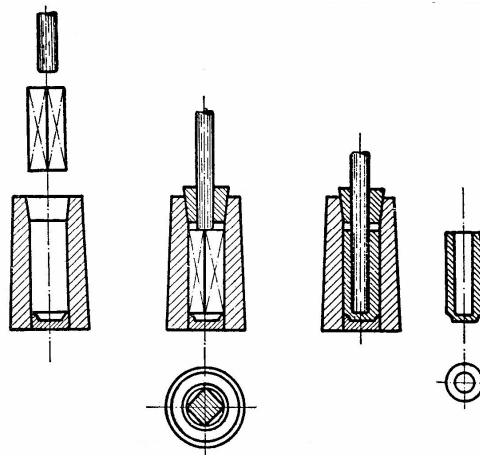
Obr. 9 Válcování příčnými kotouči [21]

1.2 Výroba bezešvých trubek protahováním [21, 39]

Na rozdíl od předchozích metod válcování trubek, u nichž se vycházelo z ingotů nebo sochorů kruhového průřezu, zde jsou výchozím materiálem sochory čtvercového průřezu. Výrobní postup je rozdělen do dvou fází:

- lisování dutých polotovarů s příčným průřezem tvaru mezikružít
- protahování tenkostěnné trubky na vodorovné protahovací stolici

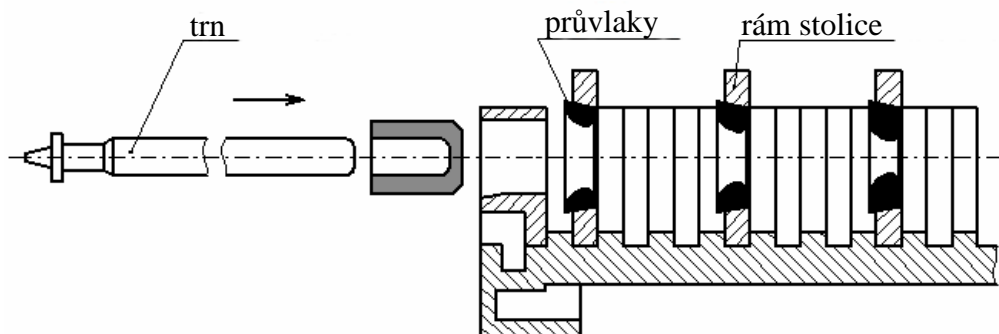
Výroba dutých výlisků se provádí na svislém děrovacím lisu, postup je znázorněn na obr. 10. Jak lze na obrázku vidět, výlisek má dno, o které se při protahování na protahovací stolici (obr. 11) opírá dlouhý válcovitý trn.



Obr. 10 Lisování na vertikálním děrovacím lisu [21]

Hotový výlisek se zbaví okují a dno se zchladí proudem vody, aby lépe odolávalo tlaku trnu. Poté se dopraví do žlabu protahovací stolice, kde se do něj zasune dlouhý protahovací trn. Poté se výlisek spolu s trnem, jež se opírá o dno výlisku, protlačuje řadou za sebou umístěných průvlaků, kde se mění jeho vnější průměr a tloušťka stěny. Protlačené trubky je potom nutno vložit na rozválcovací stroj se dvěma vzájemně šikmo uloženými válci a za příčného rozválcování zvětší jejich průměr až o 2 mm. Trn se pak vyjme z trubky na vytahovači, dno se odřízne na pile a trubka přichází na kalibrovací stroj.

Před protahováním se výlisek ohřeje na $1150 \div 1170 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Aby byl pokles teploty po průchodu průvlaků co nejmenší, protlačovací trn je nutno předehtát na $300 \div 400 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

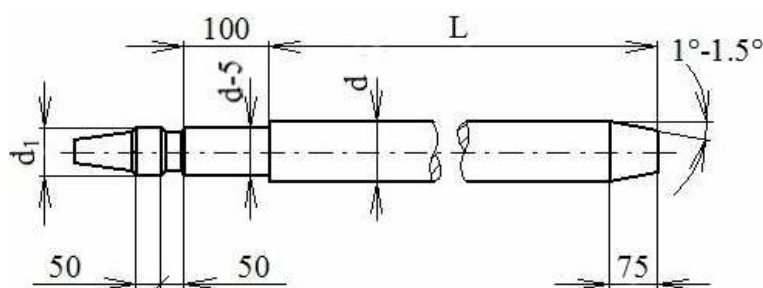


Obr. 11 Schéma uspořádání protahovací stolice [21]

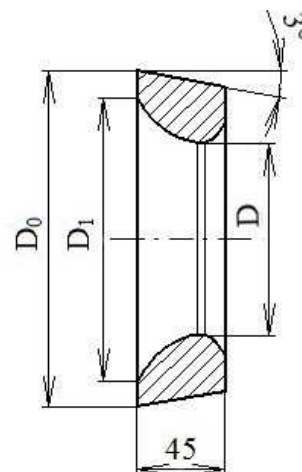
Nástroje protahovacích stolic [21]

Protahovací trny – Jsou kruhového průřezu. Aby se trn snáze zasunoval do dutého výlisku, je jeho konec značně kuželovitý. Tvar je zřejmý z obr. 12. Zhotovují se z uhlíkových nebo slitinových ocelí.

Průvlaky – Mají tvar kroužku. Pracovní plocha je zaoblena, vnější obrys je kuželovitý. Detail pracovní plochy je na obr. 13. Vyrábí se buď z šedé nebo legované litiny.



Obr. 12 Protahovací trn [21]



Obr. 13 Průvlak [21]

D_0 ...vnější průměr průvlaků
 Dvnitřní průměr průvlaků
 D_1vstupní průměr

1.3 Výroba trubek tažením [17, 21, 40]

Tažení trubek bezešvých profilů se provádí nejčastěji za studena a je vhodné pro tenkostěnné i tlustostěnné trubky menších rozměrů (max. cca 250 mm), které mají požadavky na rozměrovou přesnost a jakost povrchu. Výchozím polotovarem jsou trubky vyrobené válcováním do délky přibližně 4,5 m, jež mají upravený konec pro prostrčení průvlakem a musí mít hladký vnější i vnitřní povrch bez povrchových vad. Jednotlivé metody výroby trubek se rozlišují podle vymezení vnitřního průměru trubky.

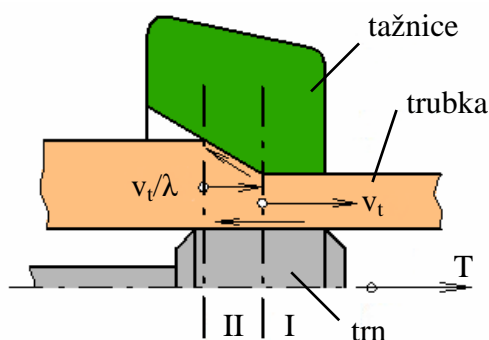
Síly a vnější tření při tažení trubek [21]

Velikost tažné síly závisí:

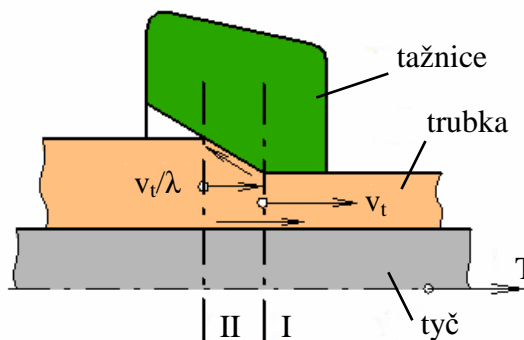
- a) na rozměrech tažené trubky
- b) na druhu tažené oceli
- c) na jakosti povrchu tažených trubek
- d) na tvaru a provedení nástrojů

Na obr. 14 jsou schematicky znázorněny silové poměry při tažení na trnu. V řezu I je průměrná rychlost materiálu v osovém směru v_t , v řezu II je rovna podle zákona stálosti objemů podílu v_t/λ , kde λ je koeficient prodloužení trubky mezi řezy. Jelikož $\lambda > 1$, se materiál v řezu I pohybuje rychlostí vyšší než v řezu II. Plocha průvlatku mezi průřezy I a II je kuželovitá. Tření působí proti směru relativní rychlosti, jež je shodná s rychlostí v_t . Protože trn není v pohybu, tření na trnu působí proti směru vnější síly T .

Při tažení na tyči v_t představuje rychlost v průřezu I a zároveň i rychlost pohybující se tyče, v průřezu II je rychlost materiálu rovna v_t/λ . Odpor tření při tažení na tyči mění směr a nepůsobí proti síle T , nýbrž v jejím směru, jelikož relativní pohyb trubky je proti směru působení síly T , viz obr. 15. Z toho plyne, že při tažení na tyči je tažná síla T menší než při tažení na trnu.



Obr. 14 Síly při tažení na trnu [21]



Obr. 15 Síly při tažení na tyči [21]

Tažná síla se dá vyjádřit tímto výrazem:
$$T = S_1 \cdot \frac{k_{ds}}{\eta_d} \cdot \ln \frac{S_0}{S_1} \quad [21] \quad (1.3.1)$$

T – tažná síla

S_0 – průřez výchozí trubky

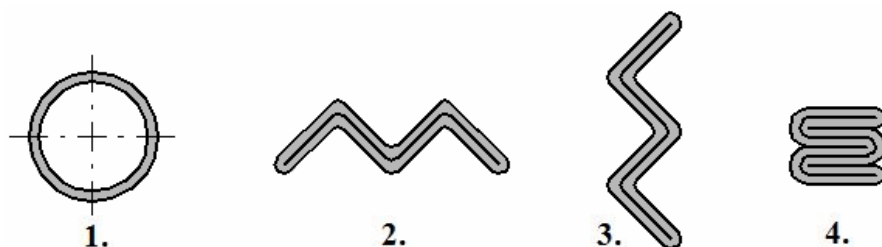
S_1 – průřez tažené trubky

k_{ds} – střední deformační odpor materiálu

η_d – součinitel přetvárné účinnosti

Příprava výchozích trubek k tažení [21]

Hrotování trubek – aby bylo možné trubku táhnout, jeden její konec je nutno upravit k uchopení čelistmi tažného vozíku. Vytvoří se uzavřený hrot nebo se konec trubky pouze zúží. Hrot, jehož tvar je zobrazen na obr. 16, se vykove za tepla na bucharu nebo na speciálním válcovacím hrotopacím stroji.

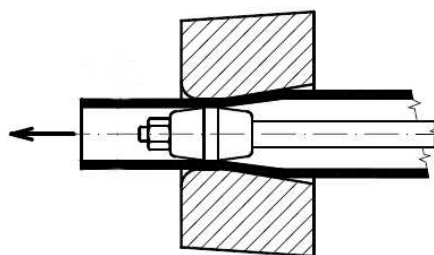


Obr. 16 Postup provedení hrotu k tažení trubek [21]

Moření (odokujování) trubek – je důležitá operace při výrobě válcovaných nebo tažených trubek. Moření je chemický proces odstranění oxidů kovů vzniklých na povrchu materiálu předchozím tepelným zpracováním. Dle zpracovávaného materiálu je volena vhodná kyselinová lázeň. Pro uhlíkové oceli to je nejčastěji kyselina chlorovodíková (HCl), popř. v současnosti už méně kyselina sírová (H₂SO₄).

1.3.1 Tažení trubek na uchyceném trnu [17, 21]

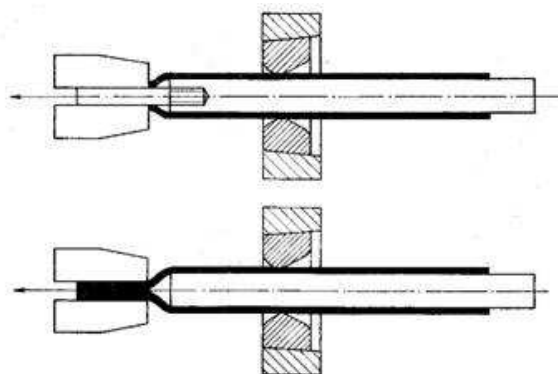
Proces je znázorněn na obr. 17, kde tažným nástrojem je průvlak, jež je zasazen v rámu tažné stolice. Uvnitř průvlaku je krátký trn upevněný na tyči. Trubka se zasune na trn tak, aby hrotem zasahovala do průvlaku. Tažnou sílu přenáší trubka.



Obr. 17 Tažení na trnu [17]

1.3.2 Tažení trubek na tyči [17, 21]

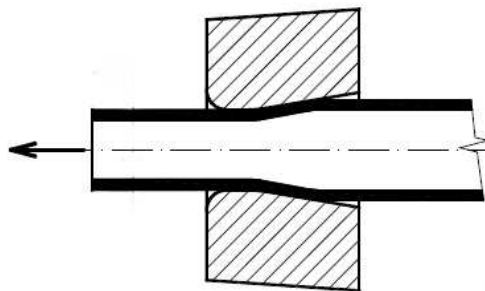
Proces tažení je téměř stejný, ale pracovní plocha průvlaku má tvar dvou proti sobě obrácených kuželů, mezi kterými je úzká válcovitá plocha. Tyč přenáší tažnou sílu buď pomocí zašroubovaného hrotu nebo rovnou čelní plochou, jak je zobrazeno na obr. 18.



Obr. 18 Tažení na tyči [17]

1.3.3 Průvlečné tažení [17, 21]

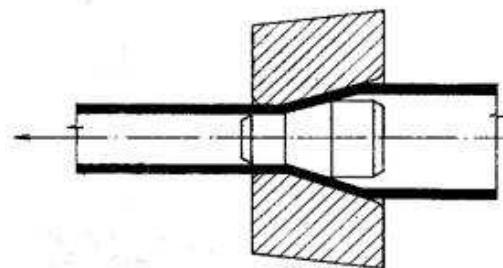
V tomto případě je konec trubky opatřen hrotem. Tažnou sílu provádí trubka, vnitřní průměr ani tloušťka stěny není vymezena žádným nástrojem, což je zřejmé z obr. 19. Použití této metody je určeno převážně ke kalibrování vnějšího průměru, jelikož redukce průměru je velmi nízká.



Obr. 19 Průvlečné tažení [17]

1.3.4 Tažení trubek na volném trnu [17, 21]

Tažnou sílu přenáší trubka. Trn se udržuje ve správné poloze pomocí tření mezi trnem a trubkou. Trn musí být opatřen takovým kuželovitým tvarem, aby nebyl vytlačen, popř. tažen dopředu. Proces je znázorněn na obr. 20.



Obr. 20 Tažení na volném trnu [17]

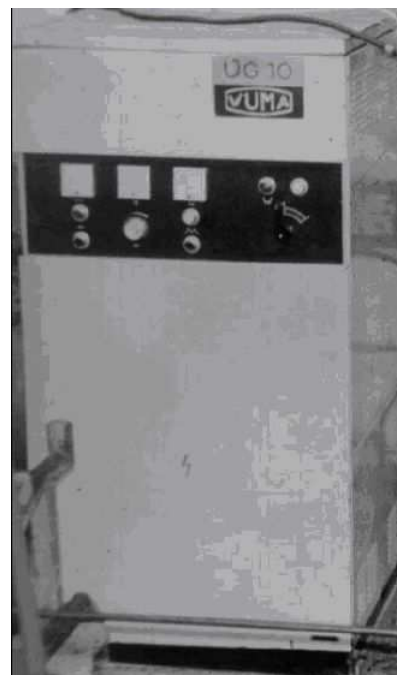
1.3.5 Tažení trubek za pomoci ultrazvuku [11, 40]

První teoretické základy sahají do 40. let minulého století. Do praxe se tato metoda dostává v 70. letech v USA a tehdejším SSSR.

Soustředný tok akustické energie s vysokou intenzitou je směřován do deformační oblasti, kde má kladný vliv na tvářecí proces. Prozatím se dostalo širšího uplatnění v oblasti tváření u tažení trubek. Mezi hlavní komponenty ultrazvukových zařízení patří ultrazvukové zdroje, viz obr. 21, ultrazvuková přenosná soustava a ovládací prvky.

Výhody použití ultrazvuku při tažení trubek:

- snížení vnitřního pnutí
- tažení složitějších tvarů průřezu
- zvýšení rozměrové a tvarové přesnosti trubek
- zvýšení stability procesu
- rovnoměrnější mechanické vlastnosti trubek
- lze táhnout materiály, u kterých by to za jiných okolností nebylo možné



Obr. 21 Ultrazvukový zdroj Vuma [11]

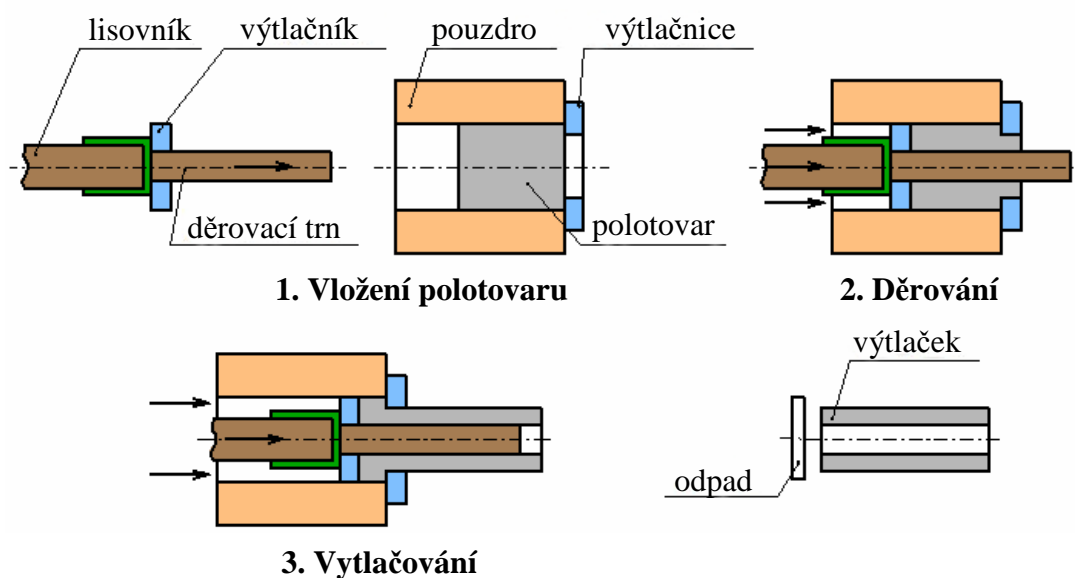
1.4 Výroba trubek dopředným vytlačováním [5, 36]

Podstatou této metody je vytlačování materiálu otvorem menšího rozměru, než je rozměr výchozího materiálu. Nejčastěji jsou vytlačovány tyčové polotovary z uhlíkových a slitinových ocelí. Tato metoda je mnohem produktivnější než všechny předchozí, jelikož lze za působení tvářecích teplot vyrobit hotovou trubku jednou pracovní operací.

Technologický postup:

- a) Příprava materiálu (nařezání výchozích tyčových polotovarů na potřebné délky)
- b) Ohřev nařezaných polotovarů na potřebnou teplotu lisování
- c) Nanesení vrstvy mazadla na polotovar
- d) Vytlačování výchozího polotovaru na trubku

Postup vlastního vytlačování trubky je zobrazen na obr. 22. Předehřátý polotovar obalený vrstvou mazadla je vložen do pouzdra zakončeného výtlačnicí. Po přísunu lisovníku, opatřeného děrovacím trnem a výtlačníkem, se nejdříve provede děrování a poté vytlačení konečné trubky mezi obrysem matrice a děrovacího trnu, který tvoří vnitřní vedení vytlačované trubky. Vytlačování probíhá buď na mechanických nebo hydraulických lisech, hydraulický lis má výhodu v tom, že je možno regulovat rychlost vytlačování a lépe přizpůsobit tlak průběhu deformačního odporu.



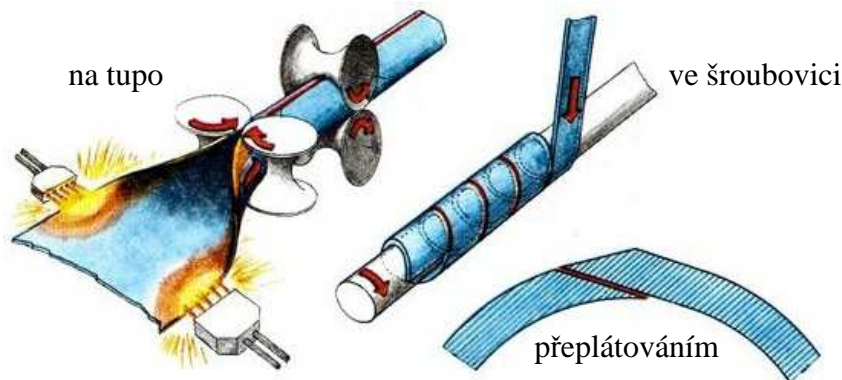
Obr. 22 Dopředné vytlačování trubek [5]

Tab. 1 Porovnání metod výroby bezešvých trubek [21]

	Výhody	Nevýhody	Rozměry
Výroba trubek válcováním	nemají spojovací svar, snesou vyšší přetlaky	pouze rotační trubky, kolísání tloušťky stěny, vznik převalků	$\varnothing 30 \div 600$ mm, délky až 36 m
Výroba bezešvých trubek protahováním	levnější výchozí materiál (čtvercové sochory)	vznikají povrchové rýhy, nebezpečí utržení dna	$\varnothing 70 \div 219$ mm, délky 7 ÷ 8 m, normální i větší tloušťka stěny
Výroba trubek tažením	dobrá jakost (hladký vnější i vnitřní povrch), rozměrová přesnost	nákladnější než válcování, povrch musí být před tažením dokonale upraven (zbaven okují, nanesení mazadla)	trubky malých i středních rozměrů (do 250 mm), tlustostěnné i tenkostěnné
Výroba trubek dopředným vytlačováním	zhotovení trubky jednou pracovní operací	malá životnost nástrojů, vydatné mazání	trubky malých průměrů a jiných průřezů než kruhových

2 VÝROBA SVAŘOVANÝCH (ŠVOVÝCH) TRUBEK [17, 22]

Trubky bezešvé jsou poměrně nákladné, proto se pro konstrukční účely nebo malé vnitřní přetlaky vyrábí levnější svařované trubky. Vyrábí se z pásové oceli, jejichž kraje se svaří na tupo, přeplátováním nebo ve šroubovici, viz obr 23.



Obr. 23 Principy metod výroby trubek svařováním [17]

Dle výrobní techniky lze způsoby výroby svařovaných trubek rozdělit takto:

- svařování trubek v plynových pecích
- svařování trubek plamenem
- elektrické svařování trubek

Při těchto způsobech lze svarový spoj provést: (srovnání metod viz tab. 2)

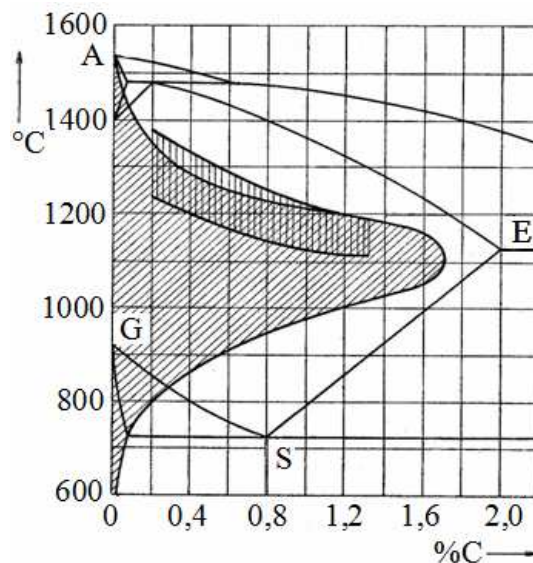
- svařováním tlakem
- tavným svařováním

2.1 Svařování tlakem [22]

Metoda svařování tlakem, viz obr. 24, spočívá v zahřátí okrajů pásu plechu na vysokou teplotu, které se poté spojí klidným tlakem. Vhodné teploty svařování leží hlavně v oblasti austenitu a závisí na obsahu uhlíku viz obr. 25, kde jsou vyznačeny jednoduchými šrafy, ty nejspolehlivější v oblasti solidu svislými šrafy. K dosažení dokonalého spojení okrajů pásu musí být kov dokonale plastický a ohřáté hrany musí být přitlačeny náležitým tlakem.



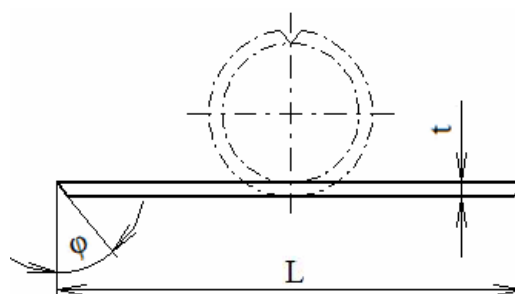
Obr. 24 Tlakové svařování trubek [34]



Obr. 25 Oblast teplot svařování [22]

2.1.1 Spojité svařování trubek v plynové peci na tupo [22]

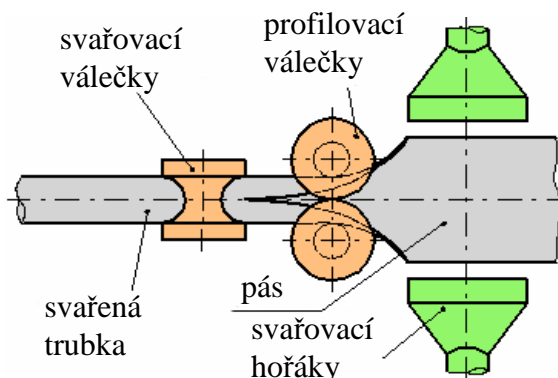
Jedná se o spojitě svařování na tupo, jenž je moderní a výkonný způsob výroby trubek svařovaných z pásové oceli válcované za tepla s obsahem uhlíku 0,13%. Pásky jsou zkoseny pod úhlem $\varphi = 7 \div 17^\circ$, viz obr. 26. Tímto způsobem se vyrábí trubky malých a středních průměrů o tloušťce stěny $t = 2 \div 14$ mm. Jakost svaru je velmi dobrá.



Obr. 26 Zkosení pásové oceli [22]

Ohřev pásů je proveden v dlouhých plynových pecích vytápěných koksovým nebo zemním plynem. Nejintenzivněji jsou zahřívány okraje pásů, zatímco střed zůstává chladnější. Střed pásu má teplotu okolo 1280 °C, okraje mají asi o 80 °C více. Při výstupu z pece je pás veden na zakružovací a svařovací válečky (obr. 27). Mezi nimi je hubice pro foukání stlačeného vzduchu na hrany pásu, čímž se zahřejí až na 1500 °C. První pár válečků zakružuje, v druhém páru se na tupo svařuje.

Tyto tratě jsou velmi výkonné, dokážou vyrobit až 325 t za 8 hodin.

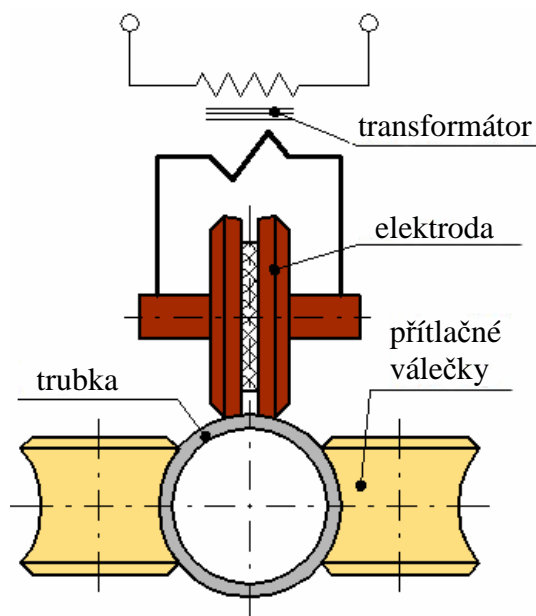


Obr. 27 Spojité svařování trubek na tupo [22]

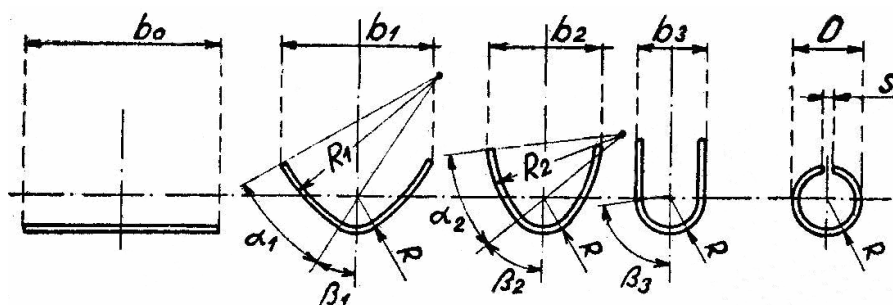
2.1.2 Odporové svařování trubek [22, 30]

Při odporovém svařování, jehož princip je zobrazen na obr. 28, se svarové plochy roztaví a spojí za působení tlaku. Teplo potřebné k roztavení kovu je vyvoláno elektrickým odporem. V místě dotyku svarových ploch trubky je průchodu elektrického proudu kladen největší odpor, čímž se v tomto místě vyvine nejvíce tepla.

Hrany pásu se před vstupem do zakružovacích válečků seříznou, aby chom docílili rovnoměrné šířky. V zakružovacích válečkách se pás postupně formuje do tvaru šterbinové trubky. Na obr. 29 je zobrazen postup zakružování. Za válečky je umístěn svařovací stroj, kde se trubka pod kruhovými elektrodami svaří. Odstraní se svarová housenka, dále putuje mezi kalibrovací válečky až k pile, kde se uřeže na požadovanou délku.



Obr. 28 Princip odporového svařování trubek [22]



Obr. 29 Postup zakružování trubek [22]

Popsaným způsobem se svařují všechny druhy ocelí, a to i pozinkované nebo jinak pokovené, jako třeba u karoserií aut. Svařovací tratě pro odporové svařování trubek nejnovější konstrukce dosahují rychlosti až 120 m za minutu. Při svařování jakostních trubek je nutno trubky také vyžítat.

2.2 Svařování tavné [22]

Při tavném svařování dojde ke spojení roztavením kovu nebo přidáním kovu o stejném, popř. podobném složení bez mechanického tlaku.

Zdrojem tepla může být teplo plamene spalovaného plynu, teplo, které vzniklo přeměnou elektrického proudu odporem, který klade kov proti průchodu, nebo teplo elektrického oblouku.

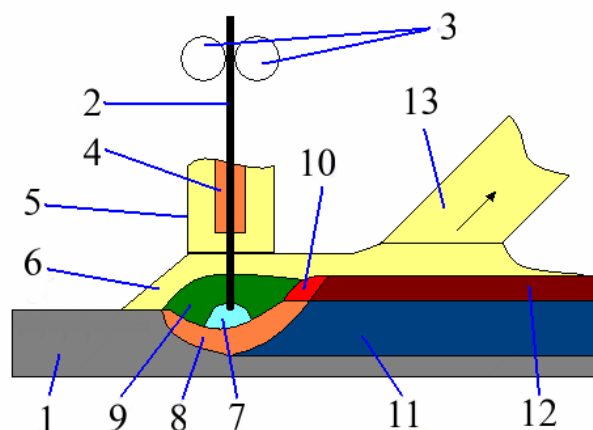
Při tomto způsobu se využívá tepla elektrického oblouku. Tímto teplem se roztaví základní materiál a elektroda, kterou je ocelový drát.

2.2.1 Automatické svařování trubek pod tavidlem (SAW) [22, 33]

Princip svařování je naznačen na obr. 31. Vyrábí se trubky od průměru 140 mm a tloušťky $4 \div 25$ mm. Jedná se o svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou. Elektrický oblouk hoří mezi již dříve zakruženou trubicí a odtavující se elektrodou. Elektroda je ve formě drátu navinutého na cívce a za pomoci elektromotorem poháněných kladek je posouvána do hořícího oblouku. V průběhu svařování je svarová lázeň neustále zasypávána vrstvou tavidla, pod níž dokonce hoří i elektrický oblouk (obr. 30). Oblouk tedy nelze vidět, jelikož je schován pod vrstvou tavidla, což má za následek minimální emise škodlivých dýmů a záření. Průběh svařování dovoluje částečnou nebo úplnou automatizaci tohoto výrobního postupu, což přispívá k dokonalému provedení svaru a k vysoké produktivitě práce.



Obr. 30 Svařování pod tavidlem [33]

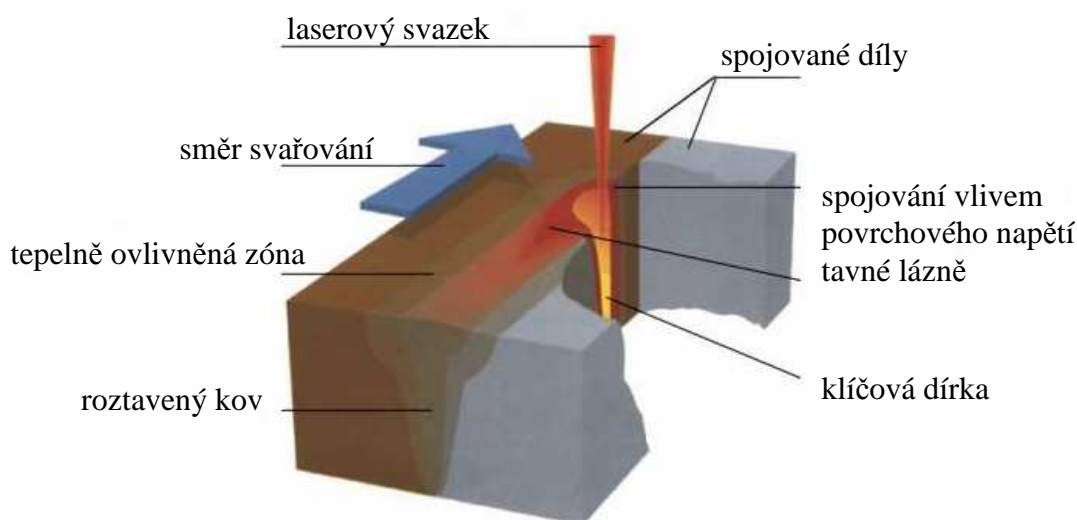


Obr. 31 Princip svařování pod tavidlem [33]

1 - základní (svařovaný) materiál, 2 - drátová elektroda (svařovací drát), 3 - podávací kladky poháněné motorem, 4 - napájecí kontaktní průvlak, 5 - hubice pro práškové tavidlo, 6 - práškové tavidlo, 7 - elektrický oblouk, 8 - tavná svarová lázeň, 9 - dutina naplněná plynem, který se uvolnil z tavidla, 10 - roztavená struska, 11 - svarová housenka, 12 - ztuhlá struska, 13 - odsávání přebytečného tavidla

2.2.2 Svařování trubek laserem [26]

Historie laserového svařování trubek sahá do počátku 80. let minulého století. Vyznačuje se především vysokou rychlostí svařování a minimální deformací spojovaných materiálů. Je možno provádět řadu svařovacích operací s možností automatizace a robotizace. Snad jedinou nevýhodou jsou vysoké náklady spojené s instalací laserového systému, tudíž je tato technologie určena pro sériovou výrobu.



Obr. 32 Princip laserového svařování [26]

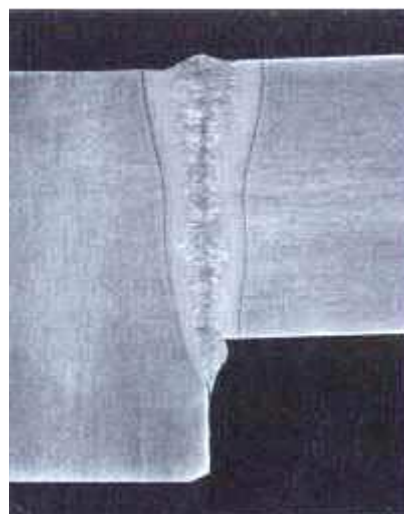
Tvorba svarových spojů [26]

Svařování se ve většině případů provádí tzv. CO₂ laserem, jehož běžný průmyslový výkon je mezi 6 ÷ 12 kW. V zásadě existují dva způsoby pro vytvoření svarového spoje laserem.

Pulzním svařováním s nízkou opakovací frekvencí, přičemž je svarová housenka tvořena mnoha za sebou jdoucími a vzájemně se překrývajícími body (obr. 33 vlevo).

Tato metoda je vhodná zejména pro spojování trubek menších tloušťek, při svařování obtížně svažitelných materiálů a tam, kde nelze z důvodu konstrukčního uspořádání svařovaných dílů efektivně použít jinou metodu.

Druhá varianta spočívá ve využití vysoké hustoty výkonu v dopadové ploše pro vznik tzv. „klíčové dírky“. „Klíčová dírka“ je kapilára naplněná ionizovanými kovovými výpary o vysoké teplotě (obr. 32). Kapilára hraje důležitou úlohu, neboť umožňuje přenášet energii přímo dovnitř materiálu podél svarových ploch. Jamka je přesunována mezi díly určenými ke spojení rychlostí svařování. Při posuvu svazku ve směru svařování dochází vlivem povrchového napětí roztaveného kovu k opětovnému spojení svarového kovu za „klíčovou dírkou“. Tento efekt umožňuje svařování tupých svarů různých tloušťek na jeden průchod, a to s plným nebo částečným průvarem (obr. 33 vpravo). Tento způsob svařování je plně automatizován a vyznačuje se vysokou kvalitou svarového spoje. Tavná lázeň je v obou případech svařování chráněna před nepříznivými účinky okolí ochrannou atmosférou.



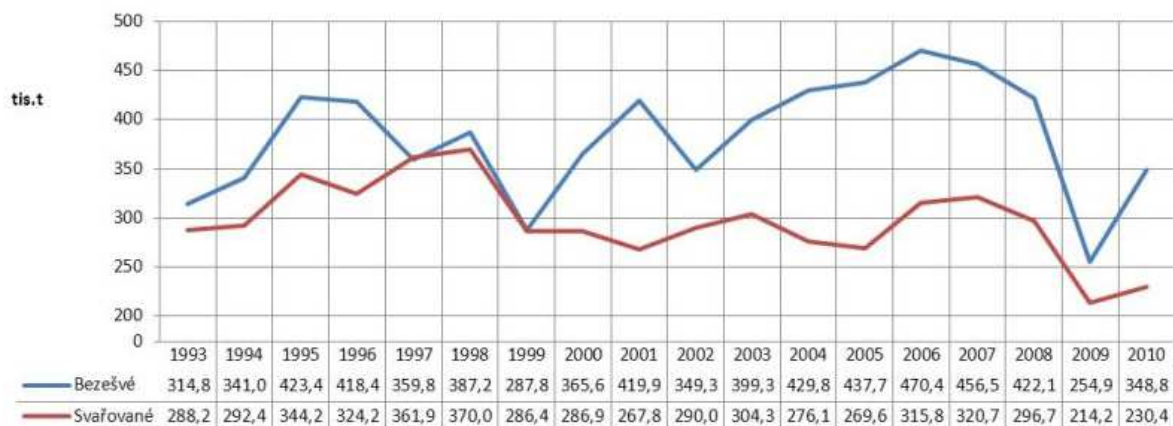
Obr. 33 Pulzní svar (vlevo), svar metodou „klíčové dírky“ (vpravo) [26]

Tab. 2 Porovnání metod výroby svařovaných trubek [22]

	Výhody	Nevýhody	Rozměry
Svařování v peci	dobrá jakost svaru, výkonný způsob	snesou pouze nižší přetlak	Ø10 ÷ 114 mm, tloušťka stěny 2 ÷ 14 mm
Odporové svařování	vysoká rychlost svařování	obtížná svařitelnost ocelí s obsahem uhlíku větším než 0,3%	Ø8 ÷ 660 mm, tenkostěnné i tlustostěnné
Svařování pod tavidlem	dobrá kvalita svarových spojů, ekonomicky výhodné	nulová vizuální kontrola svaru, náročná úprava svarových ploch	Ø140 ÷ 1800 mm, tloušťka stěny do 60 mm
Svařování laserem	vysoká rychlost svařování, minimální deformace	vysoké náklady	prakticky neomezené

Statistické zhodnocení metod výroby trubek

Na obr. 34 jsou zaznamenány údaje o vyrobeném množství bezešvých a svařovaných trubek od roku 1993 až 2010. Jak je z grafu zřejmé, s postupem let technologie výroby bezešvých trubek čím dál více převažuje nad trubkami vyrobenými svařováním.



Obr. 34 Přehled vyrobeného množství trubek v letech 1993 až 2010 [12]

Tab. 3 Materiály trubek a jejich uplatnění [2, 7, 8, 9, 23, 32]

Materiál	Uplatnění
Ocel (Svařované)	Jejich využití je v nábytkářském, radiátorském průmyslu, přesném strojírenství, energetice a především v silně se rozvíjejícím automobilovém průmyslu.
Ocel (Bezešvé)	Trubky pro injektáže a zakládání staveb, budování tunelů a metra, stožáry, konstrukce a střechy průmyslových i prodejních hal, sportovních areálů, letišť a nádraží, horské dráhy apod.
Mosaz	Trubky vyrobené z mosazi jsou široce používány v automobilovém průmyslu, dále také na osvětlení, zemědělské zařízení, strojní součásti atd.
Měď	Vodovodní síť pro pitnou vodu, rozvody studené i teplé užitkové vody, vytápěcí systémy, sluneční kolektory a další solární zařízení, rozvody svítiplynu, zemního a zkapalněného plynu, protipožární zařízení, chladírenské a mrazírenské zařízení.
Nerez	Vhodné především pro stavebnictví, zdravotnictví, architekturu, dekorativní účely, strojírenství, součásti dopravních prostředků, gastronomii a úpravu vody.
Litina	Tento materiál se používá především k odvodu odpadní a dešťové vody a umožňuje proudění vzduchu do odpadního systému.

3 DĚLENÍ TRUBEK [16]

Trubky lze dělit:

- třískovým způsobem
- beztřískovým způsobem (stříháním)
- odtavením (nekonvenční metody)

3.1 Dělení třískovým způsobem (konvenční metody) [16]

Do této skupiny patří dělení na strojních pilách kotoučových, rámových, pásových a upichování na soustružnických strojích. Mezi nevýhody třískového způsobu patří velké ztráty materiálu a velká spotřeba pil.

Ve strojírenském průmyslu převažuje dělení trubek na pilách. Náklady na řezání materiálu představují 2,5% z celkových objemů nákladů na strojní obrábění.

3.1.1 Řezání kotoučovými pilami [16, 20]

Jedná se o nejběžnější způsob používaný ve většině podnicích. Při řezání se dosahuje vysokých výkonů a čistého řezu. Nevýhodou této metody je velký prořez materiálu způsobený tloušťkou pilových kotoučů pohybující se od 4,5 ÷ 11 mm.

Popis moderního automatického stroje:

V sériové a hromadné výrobě se používají pily automatické (obr. 35), které celkový proces řezání provádí automaticky. Ovládání pily je řešeno pomocí panelu s dotykovým displejem, kde se jednoduše zadá velikost odřezaného kusu + jejich počet. Součástí vybavení je automatický podávací stůl, na který je možno naskládat několik tyčí za sebou a stroj si podává nové tyče sám v automatickém cyklu.

Jako rezný nástroj se používá kotouč ze slinutého karbidu (obr. 36) o daném průměru. Předností této kotoučové pily na kov je především velmi krátký čas dělení a také výsledný povrch vzniklý po řezu (možno vynechání operace obrábění). Jako chladicí emulze se užívá olejové mlhy, která je pro tento typ řezání nejvíce vhodná.



Obr. 35 Kotoučová pila na kov [20]



Obr. 36 Pilový kotouč ze slinutého karbidu [28]

3.1.2 Řezání pásovými pilami [16, 20]

Pásové pily mají nejmenší ztráty materiálu prořezem. Zvlášť výhodné jsou tam, kde řezou dražší materiály (rychlořezné oceli atd.).

Popis moderního automatického stroje:

Automatická pásová pila na kov PMS 460/460 AN (obr. 37) je vybavena posuvným, podávacím svěrákem, který podává materiál do řezu. Podávací svěrák odměřuje na principu lineárního odměřovače. Automatické hydraulické napínání pásu + hydromotorem poháněný šnekový vynašeč třísek, který dokonale odděluje třísky od řezné kapaliny.

Ovládání pily je řešeno dotykovým displejem obdobně jako u pily kotoučové. Je možno nastavit jak posuv do řezu, tak i přítlak. Nastavení přítlaku má pozitivní vliv na životnost pásu.



Obr. 37 Pásová pila na kov [20]

3.1.3 Řezání rámovými pilami [16]

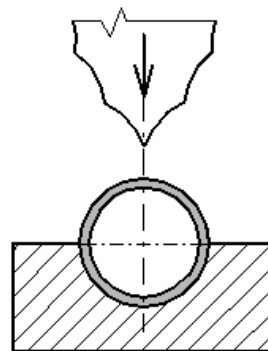
Dělení trubek rámovými pilami je oproti řezání kotoučovými pilami málo produktivní, jelikož pilový list odebírá materiál pouze v jednom směru při jednom dvojzdvihu. Rámové pily, viz obr. 38, se využívají tam, kde není požadován velký výkon. Výhodou této metody je jednoduchá obsluha a nízké náklady na řezání včetně nízké ceny strojů a nástrojů. Výhodně se používají pro řezání tenkostěnných trubek a dutých válcovaných profilů větších průřezů.



Obr. 38 Rámová pila na kov [24]

3.1.4 Dělení trubek stříháním [14, 17]

Tohoto způsobu je užíváno, pokud chceme při dělení trubek docílit co nejmenšího zdeformování. Pohyblivá část nástroje je ve tvaru oblouků zakončených špičkou, viz obr. 39. Nejprve je trubka probodnuta špičatou částí a potom je stříhána boky nástroje tak, že výslednice sil na břitu směřuje kolmo vůči směru nejvyšší tuhosti. Střížná mezera potom není po celé délce stejná, ale od středu směrem k okrajům klesá.

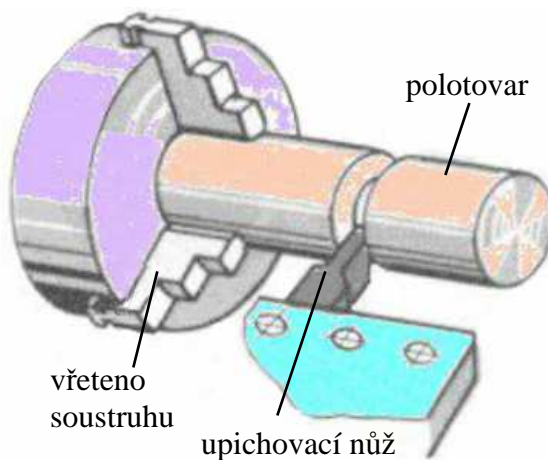


Obr. 39 Stříhání trubek [17]

3.1.5 Dělení trubek upichováním [14, 41]

Slouží k dělení převážně tyčových materiálů nebo trubek. Proces je znázorněn na obr. 40. U dlouhých obrobků se místo upichování musí nacházet blízko vřetene.

Upichovací nože mají delší řeznou část, šířka ostří nože se volí s ohledem na průměr upichovaného polotovaru. Ostří může být přímé nebo šikmé. Výhodou šikmého ostří je nezanechávání neobrobeného povrchu na upíchnutém obrobku.



Obr. 40 Proces upichování [41]

3.1.6 Dělení trubek rozbrušováním [14, 16]

Proces rozbrušování se řadí mezi jeden z nejvýkonnějších způsobů třískového obrábění. Při dělení trubek na rozbrušovacích bruskách (obr. 41) je dosahováno krátkých operačních časů. Jako řezný nástroj se používá tenký kotouč zhotovený ze zrn karbidu křemíku (SiC) nebo syntetického korundu (Al_2O_3). Hlavní výhodou je především krátký operační čas, rovný a čistý řez a univerzálnost použití.



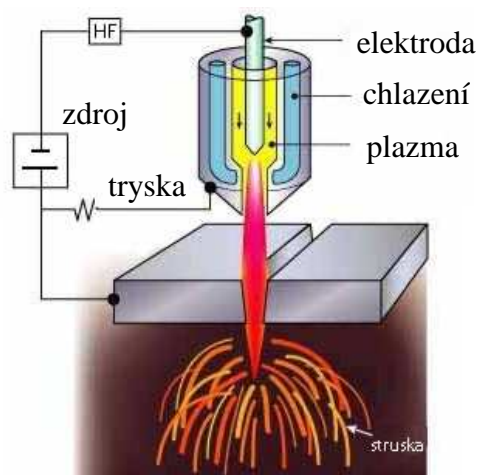
Obr. 41 Rozbrušovací bruska [29]

3.2 Nekonenční metody dělení trubek

Tyto metody dělení trubek nejsou užívány v takovém rozsahu jako konvenční, ale aplikují se tehdy, když žádný jiný způsob nesplňuje náležité podmínky, nebo je požadováno tvarové zakončení trubky, což by na pile nebo stříhadle nebylo možné vyrobit. Nejčastěji se využívá dělení za pomoci laseru, plazmy či kyslíku. Porovnání těchto metod najdeme v tab. 4.

3.2.1 Řezání plazmou [3]

Tepelným zdrojem je energie plazmy, která vzniká ionizací plazmového plynu v elektrickém oblouku a je koncentrována stěnou trysky hořáku, ochranným plynem nebo vodním vírem, viz obr. 42. Důsledkem zkoncentrování proudu plazmatu je získání vysoké hustoty výkonu a následně vysokých teplot ($16 \div 20$ tis. K). Řezaný materiál je taven a tavenina vyfukována z řezné spáry ven.



Obr. 42 Řezání plazmou [3]

3.2.2 Řezání laserem [27]

Dělení materiálu laserem je založeno na vysoké hustotě výkonu dopadajícího laserového svazku v místě styku s materiálem. Díky této vlastnosti dochází po dopadu svazku na materiál k jeho prudkému ohřevu, natavení a odpaření. Ukázka dělení trubek za pomoci laseru je na obr. 43.



Obr. 43 Řezání trubek laserem [1]

3.2.3 Řezání kyslíkem [18, 27]

Vhodný hořlavý plyn (acetylén, ethylen, propylen, propan) ve směsi s kyslíkem zahřeje povrch řezaného materiálu na zápalnou teplotu a prouděním řezacího kyslíku dochází ke spalování materiálu (exotermické reakci). Vznikající oxidy jsou vyfukovány ve formě strusky proudem kyslíku ven a vzniká řezná spára. Tato metoda je vhodnější spíše pro řezání plechu než uzavřených profilů z důvodu vyfukování velkého množství strusky. Ukázka řezání kyslíkem je na obr. 44.



Obr. 44 Řezání kyslíkem [27]

Tab. 4 Porovnání nekonvenčních metod dělení trubek [18, 27]

	Výhody	Nevýhody	Použití
Řezání plazmou	rychlý řez bez přehřívacího cyklu	tvorba otřepu z roztaveného kovu na spodní straně, větší tepelně ovlivněná oblast než u laserů, možnost řezání pouze elektricky vodivých materiálů	dělení středně silných materiálů, nelegované oceli lze dělit do tloušťky cca 50 mm, vysokolegované oceli a hliník pak zhruba do 30 mm
Řezání laserem	malé přebytečné teplo, tenký řez (0,2 - 0,01 mm), úzká tepelně ovlivněná zóna, široké spektrum řezaných materiálů, minimální plastická deformace	omezující faktor je tloušťka řezaného materiálu, vysoká cena zařízení a vysoké provozní náklady	dělení všech typů konstrukčních materiálů, nelegované oceli do 25 mm, korozivzdorné oceli a slitiny hliníku do 15 mm)
Řezání kyslíkem	teoreticky neomezená tloušťka řezaného materiálu (až 300 mm), vysoká kvalita řezu	nízká rychlost řezání (800 mm/min)	dělení převážně nelegovaných ocelí velkých tlouštěk a podmíněně i nízkolegovaných ocelí

ZÁVĚR

Výroba a dělení trubek, jenž ve světě zaujímá charakteristické odvětví hutní výroby, se nejvíce rozvinulo v minulém století jako výsledek celkového technického pokroku.

V posledních více než dvaceti letech převažuje poptávka po trubkách vyrobených bezešvým způsobem, a to z důvodu širší použitelnosti a vyšší odolnosti vůči mechanickému namáhání, vysokým tlakům a teplotám, jak již bylo vyhodnoceno z grafu na obr. 34. Nicméně i svařované trubky dosahují v současné době také vysokých kvalit, proto je možné jejich uplatnění v průmyslu s vyššími nároky na rovněž velká mechanická namáhání a mohou se z nich spolehlivě stavět armatury parních kotlů a různé chemické aparáty na vysoké tlaky a teploty a použít na dálkový rozvod kapalin a plynu.

V dnešní době je u výrobních pochodů snaha o co největší mechanizaci a automatizaci. Proto se volí takové výrobní postupy, které se dají snáze automatizovat. Z technologických postupů, založených na jiném principu než jsou konvenční metody válcování, se nejvíce rozšířila a všestranně uplatnila výroba bezešvých trubek vytlačováním na mechanických a hydraulických lisech, jejíž hlavní výhodou je zhotovení trubky jednou pracovní operací, z čehož i vyplývá vysoká produktivita výroby.

Každá z oněch zmíněných metod výroby trubek, ať už bezešvých nebo svařovaných, má své uplatnění ve strojírenském průmyslu. Vyzdvihnout jednu z nich a označit ji za nejlepší by bylo komplikované, neboť všechny představují určité výhody i nevýhody, jenž jsou závislé na všeobecných podmínkách, při kterých jsou trubky vyráběny, dostupnosti zařízení a finančních možnostech jak výrobních podniků, tak i spotřebitelů.

Označení nejvýhodnější metody z oblasti dělení trubek je jednoznačné, jelikož v podnicích, zabývajících se jejich výrobou, má největší zastoupení řezání na pilách, kde při větším objemu výroby jsou stroje plně automatizovány, což má za následek zvýšenou produktivitu práce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Bradford laser cutting LTD* [online]. 2012 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.bradfordlaser.com/pg-12-rotary-axis-tube-pipe-box-section-laser-cutting-bradford-yorkshire-uk.php>
2. Brass Tubes. *Kanak Pipe industries Pvt. Ltd.* [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.kanakpipes.com/brass-tubes.htm>
3. BŘICHŇÁČ, Pavel. Plazmové technologie. *Aldebaran* [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_20_plt.html
4. *Cepolina* [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: http://www.cepolina.com/roller_coaster_curve_yellow_overall.html
5. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
6. *E2E piPEs* [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://e2epi.internet2.edu/pipes/>
7. *Favex* [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.favex.cz/>
8. *Ferona* [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: www.ferona.cz/file.php?id=49
9. Gas Pipes - Approved Materials. *The Engineering ToolBox* [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: http://www.engineeringtoolbox.com/approved-gas-pipes-d_1112.html
10. GRUBER, Josef. Trubky z chomutova. [online]. 2007 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/clanky/mannesm.pdf
11. HORÁK, Aleš. *Analýza konvenční technologie dělení materiálu: Progresivní technologie ve výrobě tvářených součástí*. Brno, 2008. 46 s. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5850. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc.Ing. Pavel Rumíšek, CSc.
12. Hutnictví železa. [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.hz.cz/cz/vyroba-trubek0>
13. *iDnes* [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: http://ekonomika.idnes.cz/ceny-ropy-klesly-pod-50-dolaru-za-barel-nejnize-za-temer-dva-roky-pvh-/eko-zahranicni.aspx?c=A081120_152014_eko-zahranicni_pin
14. KAŠPAR, Ladislav. *Analýza konvenční technologie dělení materiálu*. Brno, 2008. 42 s. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5949. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Oskar Zemčík, CSc

15. Konstrukční ocelové trubky a profily. *IDNES* [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://produkty.topkontakt.idnes.cz/p/konstrukcni-ocelove-trubky-a-profily/1686808/>
16. LANGER, Zdeněk. *Objemové dělení trubek a tenkostěnných profilů*. Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 132 s. ISBN: (Brož.)
17. LENFELD, Petr. *Katedra Strojírenské technologie: Technologie II* [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm
18. MM Průmyslové spektrum: Tepelné dělení materiálu. [online]. 2011 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/tepelne-deleni-materialu-kyslikem.html>
19. PETRUŽELKA, Jiří. *Nekonvenční metody tváření* [online]. 1. verze. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, Fakulta strojní, 2007, 25. 5. 2007 [cit. 2012-02-21]. Dostupné z: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Nekonvenčni%20metody%20tvareni%202007.pdf>
20. Pilana Metal s.r.o. [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.pasova-pila-na-kov.cz/Kat/19/automaticke-pily>
21. POČTA, Bohumil. *Ocelové trubky: Bezešvé trubky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963, 413 s.
22. POČTA, Bohumil. *Ocelové trubky: Svařované trubky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964, 225 s.
23. Použití bezešvých ocelových trubek ve stavebnictví. *Tvstav* [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/337-pouziti-bezesvych-ocelovych-trubek-ve-stavebnictvi>
24. *Proka*. [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.proka.cz/index.php>
25. *REDMOTO* [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.redmoto.cz/>
26. ROUBÍČEK, Martin. Air Liquide: Laserové svařování. [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.airliquide.cz/file/otherelement/pj/laserove-svarovani49120.pdf>
27. ROUBÍČEK, Martin. Kritéria volby metody a trendy tepelného dělení materiálu. *Air Liquide* [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.airliquide.cz/file/otherelement/pj/roubicek49122.pdf>
28. *RR nářadí*. [online]. 2010 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.rr-naradi.cz/pilovy-kotouc-tsz-210mm-60zubu>
29. *Ruční nářadí* [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.rucni-naradi.cz/makita-2414nb>
30. *Schinkmann*. [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.schinkmann.cz/odporove-svarovani?popup=0>

31. Sochy a plastiky. *Lukáš Rais* [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://lukasrais.com/sochy/06noha.html>
32. Stainless steel pipe and tubing. *Independent Pipe and Supply corp.* [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: http://www.indpipe.com/images/PDF/stainless_steel_pipe_specification.pdf
33. Svařování pod tavídkem (SAW). *Svarbazar* [online]. 2010 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2009010801>
34. *Tube One Industries* [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://tubeone.us/imagegallerywelding.html>
35. Turistika I. *Muni* [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/elportal/estud/fsps/js07/turistika/ch08s01.html>
36. Tváření. *Štefan Michna* [online]. Ústí nad Labem [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: http://www.stefanmichna.com/download/tvareni/opora_tvareni.pdf
37. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Schraegwalzen.png>
38. *World Trade Fair for Used Technology* [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: http://www.machinestock.com/usetec/en/aussteller_details.php?id=7972
39. *Zacha.* [online]. 2009 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.zacha.cz/vice-o-vyrobe-trubek>
40. ZACHOVAL, Jan. *Návrh technologie výroby ohýbané součástí a konstrukční řešení nástroje*. Brno, 2009. 72 s. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18388.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
41. Zapichování, upichování a vypichování. *Coptel* [online]. 2009 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=23932&docGroup=4931&cmd=0&instance=2>